

Prof. Ing. Jiří Kožený, CSc.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie  
FEL ZČU v Plzni

## Posudek oponenta disertační práce

*Autor práce:* Ing. Jiří Polívka

*Téma práce:* „Využití termodynamického cyklu tepelného čerpadla, pro zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů“

*Školitel:* prof. Ing. Zdeněk Vostracký, Dr.Sc.

Po stručné charakteristice disertační práce Ing. Jiřího Polívky uvedu její posouzení v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a s čl. 107 odst. 1 a 2 Studijního a zkušebního řádu ZČU.

### *Všeobecná charakteristika disertační práce*

Disertační práce se týká realizace zajímavé a původní myšlenky na možnost zvýšení účinnosti fotovoltaických článků (FV), jejich řízeným ochlazováním a to ve spojení s tepelným čerpadlem (TČ) využitím jeho termodynamického cyklu.

Práce má celkový rozsah 76 stran, členěných do 11ti kapitol s teoretickými základy, výpočty, popisem experimentálního modelu a postupu měření, s ekonomickým vyhodnocením výsledků z provedených měření a s návrhem reálné integrace FV systému s TČ pro praktické využití.

Autor práci doplňuje 54 obrázky a tabulkami, 38 odkazy na odbornou literaturu, seznamem 11ti publikovaných prací včetně autorem provedeného funkčního vzorku (číslo 22150-FV 003-2011) a užitého vzoru (číslo 26672).

Disertační práce Ing. Jiřího Polívky je obsahově, teoreticky i experimentálně přínosem pro obor elektroenergetika.

Ovšem nemohu přehlédnout skutečnost, že autor měl písemnému i grafickému zpracování aktuální odborné tematiky věnovat více pozornosti a pečlivosti.

Při *zhodnocení významu předložené disertační práce pro obor* vycházím z jejího tematického zaměření do oblasti výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie, konkrétně přeměnou energie slunečního záření ve FV článkách na energii elektrickou.

Známý praktický poznatek, že účinnost v FV článků klesá s narůstající jejich teplotou vedl disertanta k originální myšlence naopak zvýšit účinnost fotovoltaických článků jejich řízeným ochlazováním. Ochlazování FV článků teoreticky i experimentálně autor řešil využitím termodynamického cyklu vhodně připojeného TČ. Tak zvýšil nejen účinnost využití energie slunečního záření k výrobě energie elektrické, ale také během procesu chlazení FV článku ke zvýšení účinnosti TČ. Samotná myšlenka a její teoretická i experimentální realizace s návrhem na využití v praxi jsou prokazatelně přínosem pro obor elektroenergetika.

Ke splnění cíle disertační práce zvolil její autor správné metody jak v postupu, tak i v řešení jejích dílčích částí. Vychází jednak z popisu teorie a vlastností fotovoltaického jevu a FV článků a z popisu fyzikálního principu činnosti TČ, navazují popisy navrženého experimentálního modelu uspořádání systému FV článků s TČ a postupu měření účinnosti FV článků v závislosti na teplotě. Doktorand sestavil také tepelný model FV panelu, u kterého respektoval přestupy tepla sáláním a prouděním. Pokračoval návrhem integrovaného systému FV článků a TČ uspořádaným pro využití v praxi. Výsledky prováděných měření prokázaly nárůst účinnosti FV článků při jejich ochlazování a umožnily provedení příkladu ekonomického hodnocení systému spojení FV a TČ při celoročním provozu. Postup i metody použité v práci splňují podmínky pro samostatnou tvůrčí vědeckovýzkumnou práci.

Za přínosný výsledek disertační práce považuji splnění jejího cíle, kterým bylo řešit obecně aktuální problém zvyšování efektivnosti využití energie slunečního záření, a to nejen k přeměně na energii elektrickou v FV člancích, ale i na energii tepelnou prostřednictvím vhodného spojení s TČ.

Autor vyšel z teorie přeměny energie slunečního záření na energii elektrickou a z poznatků o poklesu účinnosti této přeměny s nárůstem teploty FV článku. Teplo získané ochlazováním FV článků je využito ke zvýšení teploty výparníku TČ, a tím na zvýšení jeho topného faktoru, a tím i jeho účinnosti.

Konstatuji, že disertační práce Ing. Jiřího Polívky je jejím obsahem zaměřeným do oblasti zvyšování efektivnosti využívání energie slunečního záření, jako obnovitelného zdroje energie, ojedinělá a přínosná.

Práce je vypracována a uspořádána systematicky správně. První tři kapitoly autor věnoval jednak teorii transformace energie slunečního záření na energii elektrickou v systému FV článku, a také teorii využití tepelné energie produkované ohřevem FV článku na zvýšení topného faktoru připojeného TČ. Následují popisy konstrukce experimentálního modelu a postupu prováděných měření na tomto modelu s vyhodnocením získaných výsledků. Dále autor sestavil tepelný model FV panelů a navrhl integrovaný systém spojení FV panelů s TČ pro využití v praxi. Ověření teoretických závěrů provedl autor na základě simulace provozních stavů systémů ekonomicko-technickým hodnocením.


Bohužel celkový dojem z originality řešení cíle disertační práce snižuje až poměrně značná četnost formálních nesprávností pravopisných i grafických, např. nesprávná vazba přísudku s podmínkem, nejasné větné vazby, podcenění čitelnosti popisu obrázků, grafů, nejednotnost v použitých indexech fyzikálních veličin, neuvádění jednotek fyzikálních veličin apod. Podrobněji některé uvádím v příloze „Připomínky a dotazy k disertační práci“.

Pro elektronickou formu prezentace práce je nutné provést pečlivou kontrolu a úpravy respektující v příloze uvedené poznámky.

Publikační aktivitu doktoranda udává 11 prací tematicky zaměřených do oboru elektroenergetika. Tři publikace se týkají přímo řešené problematiky v disertační práci, všechny publikace byly uveřejněny v časopisech nebo sbornících z mezinárodních konferencí s odpovídajícími ISBN. Za přínos k disertační práci považuji také doktorandem vypracovaný funkční vzorek „Systém pro měření účinnosti FV panelů s využitím TČ“ – s označením 22150-FV1003-2011 a užitný vzor „Zařízení integrace FV panelu a TČ“ pod číslem 26672. Publikační činnost Ing. Jiřího Polívky celkově považuji za dostačující.

Na závěr oponentního posudku konstatuji, že disertační práce Ing. Jiřího Polívky obsahově i rozsahem, splněním stanoveného cíle jak v teoretické tak i v experimentální části i významem i přínosem pro obor, i přes připomínky uvedené v příloze, splňuje požadavky kladené na práce tohoto druhu, a proto ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb.

**doporučuji její přijetí k obhajobě.**



prof. Jiří Kožený

V Plzni dne 19. září 2014

*Příloha k oponentnímu posudku disertační práce Ing. Jiřího Polívky:*

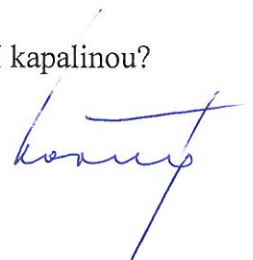
Připomínky a dotazy.

Celkový dojem z originality řešení cíle disertační práce snižuje četnost formálních nesprávností pravopisných i grafických i některé nejasné větné formulace vyskytující se na následujících stranách:

- Str. 8 – 3.řádek zdola – nesprávná shoda přísudku s podmětem – „FV panely měli“
- Str. 15 - stejná chyba v poslední větě 2. odstavce – „klesá počet nosičů, které by dosáhli“
- Str. 13 - v obrázku 2.3 je popsáno napětí na zátěži  $V_{load}$ , ale v seznamech veličin jako  $U_{load}$
- Str. 18 – v obrázku 2.6 chybějí osy se stupnicemi
- Str. 21 – chybně v „chladiiva jsou rozděleny“
- Str. 22 – chybně „další chladiiva, které je možné“
- Str. 25 – obtížně čitelný popis obrázku 3.5, v popisech je jazyková nejednotnost
- Str. 30 – obr. 3.10 nestejná velikost písmen v popisu a nejasná věta „Když vzroste ve výparníku přehřátí paliva, ventil ...“
- Str. 31 – autor by měl objasnit popis, že krokový servomotor je dvoupólový s dvoufázovým permanentním magnetem
- Str. 32 – obr. 3.12 má nečitelný popis pravděpodobně v důsledku přílišného zmenšení, podobně u obr. 4.1. na str. 33 a na obr. 5.1. na str. 36
- Str. 37 – autor nesprávně popisuje: „... přepočítat odpory R termočlánků“, ale na str. 35 uvádí: „použití teplotních čidel Pt100“ – nejde o termočlánek, ale o teplotní odporový platinový snímač teploty, který měří teplotu a nikoli teplo.  
Na téže str. v popisu výrazu 5.2 nejsou uvedeny jednotky, které nejsou uvedeny ani v seznamu použitých značek na str. 75.
- Str. 38 – 39 – v obr. 6.1, 6.4, 6.7, 6.10, nejsou pro stejné veličiny použity stejné barvy průběhu.
- Str. 47 – nejasné složení věty „pohltivost je funkcí...“, ve vztahu 7.3. „ff“ není celková dopadající energie na plochu panelu, ale měrný výkon záření ( $V/m^2$ )
- Str. 61 – v obr. 9.8 není zakreslen průměrný COP bez přehřívání

Dotazy:

- Jaké teplotě by odpovídala vlnová délka záření  $1,116 \mu\text{m}$  (na str. 12 a 16) ?
- S jakou vlnovou délkou světla byste počítal ve vztahu 2.1. na str.12 ?
- Co si lze představit pod „rozptylovou rezistencí p-n přechodu“ (obr. 2.3. str. 13) ?
- Jak lze u 3fázového asynchronního motoru změnit směr otáček (str. 26) ?
- Proč je dvojitý rotační kompresor předurčen pro provoz s invertorem ?
- Autor uvádí náhradu slunečního záření halogenidovou výbojkou 1000W, je možné uvažovat stejné vlnové délky (str. 35) ?
- Jaký je rozdíl mezi teplotním čidlem Pt100 a termočlánkem (str. 35 a 37) ?
- V jakých jednotkách vyjde tepelná kapacita panelu str. 46 výraz 7.2 ?
- Objasněte, jakým teplotám odpovídá uvažované krátko a dlouhovlnné záření (str. 47 a 48).
- Vysvětlete použití znaménka minus ve výrazu 7.7 na str. 49 a jakou jednotku bude mít výsledek výrazu.
- Objasněte výraz 7.10 str. 50, který uvádíte jako energii, ale s jednotkou W.
- Jaká je výsledná jednotka výrazu 7.8 na str. 49 ?
- Objasněte schéma zapojení na obr. 8.1. na str. 53.
- Co představuje invertorová technologie pro výkon kaskády TČ na str. 54 ?
- V kapitole 9.1 str. 56 v poslední větě „Podle údajů výrobce TČ dochází k navýšení topného faktoru o 20% při poklesu vybuzení invertoru na 50%“, objasněte význam věty.
- Objasněte ve vztahu k jednotkám výraz 9.3. str. 61.
- Proveďte úvahu, zdali by bylo možné ve vašem systému použít chlazení kapalinou?





## Posudek na disertační práci

Ing. Jiří Polívka

### VYUŽITÍ TERMODYNAMICKÉHO CYKLU TEPELNÉHO ČERPADLA PRO ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

Téma disertační práce je aktuální, proto je také úsporám energií hlavně při vytápění prostor věnována v současné době velká pozornost. Disertační práce má význam pro obor Elektroenergetika. Předložená disertační práce obsahuje teoretickou i aplikační část, postrádá však stanovení cílů a důkladnější vyhodnocení závěrů.

Teoretická část disertační práce je vzhledem k celkovému rozsahu disertační práce příliš obsáhlá, zatímco aplikační část (kap. 4 – 9) je mnohdy příliš stručná a postrádá patřičné komentáře.

Vysoce je však možno hodnotit přípravu a realizaci experimentu (fyzikální model) a tvorbu teoretického modelu teploty FV panelu. Kapitola 5 a 6, která popisuje experiment a jeho vyhodnocení tvoří jedno z jader disertace. Vyhodnocení je ale velmi stručné a chybí jistá forma zobecnění. Přesto je možno tyto části disertační práce považovat za původní.

V disertační práci lze ovšem najít některé nedostatky :

- Nejsou stanoveny cíle disertační práce, proto také není možno zkontrolovat jejich splnění.
- Seznam indexů a zkratk je neúplný, kvalita některých obrázků je nízká.
- V některých vzorcích nejsou uvedeny jednotky, což neumožňuje jejich snadnou kontrolu.
- Jsou použity stejné symboly pro různé veličiny, např.  $\lambda$  je dle seznamu vlnová délka, ve vzorci 5.2 je to součinitel tepelné vodivosti.
- U ekonomického zhodnocení postrádám vyhodnocení návratnosti investice, což je u realizace moderních otopných systémů základní informace.

K disertační práci mám následující dotazy :

- Co znamená „Z“ ve vzorci 2.4 (str. 15) ?
- Můžete vysvětlit obr. 3.1 (str. 23) ?

- Jak se liší působení světla halogenidové výbojky a slunečního světla na FV panel ?
- Jak je možno zhodnotit praktické využití navrženého otopného systému ?

Publikace autora jsou v souladu s požadavky na absolventa doktorského studia, navíc jsou doplněny funkčním vzorkem a užitným vzorem.

Předložená disertační práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí práce s původními a autorem publikovanými výsledky (v souladu s § 47 odst. 4 zákona č. 111/98 Sb.).

**Disertační práci doporučuji k obhajobě. Po úspěšné obhajobě doporučuji udělit autorovi vědecko-akademickou hodnost Ph.D. v oboru Elektroenergetika,**

Ostrava 29. 9. 2014

  
Prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.



## OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

„ Využití termodynamického cyklu tepelného čerpadla pro zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů „.

Pan Ing. Jiří Polívka předložil k obhajobě v oboru Elektroenergetika disertační práci „ Využití termodynamického cyklu tepelného čerpadla pro zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů „.Práce má 75 stran a je členěna do 11 kapitol, které vytvářejí logický a systematický celek.

Předložená práce a její význam pro obor, může být posuzována ze dvou zásadních hledisek, z nichž obě jsou předmětem současné i perspektivní politiky , zajišťující bezpečné a spolehlivé zásobování energií.V první řadě se týká složení energetického mixu v energetických zdrojích,při posouzení technických možností, ekonomických a ekologických faktorů a týká se především obnovitelných zdrojů energie.V druhé řadě jsou to práce, zaměřené na zvýšení efektivnosti přeměn, přenosu a užití energie, a spolupráci tepelných čerpadel s fotovoltaikou ,je možno bezesporu zařadit do této kategorie.

Z obou těchto hledisek je předložená práce zajímavá a přínosná, protože řeší problematiku aktuální a s možností následné realizace v hospodářské praxi. Pro tyto účely jsou předloženy výsledky experimentů nejen ve fyzikálních jednotkách, ale získané efekty jsou i finančně vyjádřeny.

Přijatý postup řešení považuji za logický a správný. V úvodních kapitolách se autor zabývá popisy technologií fotovoltaických panelů a tepelných čerpadel a jako vlastní, samostatnou část považuji experimentální model, který byl vytvořen pro měření teplotních charakteristik FV panelů. Tepelný model FV panelu byl potom použit pro návrh spolupráce TČ a FV panelů a závěrečné vyčíslení efektů pro vybrané letní a zimní měsíce.

Autor pan Ing.Polívka prokázal širokou znalost o pracích, prováděných v této oblasti, jak v zahraničí, tak v tuzemsku a mohu konstatovat, že cíl práce ,tj. spolupráce TČ a FV panelů, je dostatečně dokumentována vyčíslením tepelných i finančních efektů pro uživatele takovýchto systémů.

Při tom musím ,ale konstatovat, že v disertaci jednoznačný cíl práce uveden není, což by měl disertant napravit při svém vystoupení před komisí pro obhajoby.

Za přínos disertace považuji vytvoření experimentálního modelu, který dovoluje na konkrétních klimatických veličinách v České republice , vyčíslit efekty spolupráce obou systémů.Vzhledem k tomu, že je možno předpokládat rozvoj FV panelů na střeších budov, je potom možno ve spolupráci s využitím TČ , dosáhnout efektivnějších výsledků. To považuji za autorův konkrétní přínos pro řešení otázek uplatnění obnovitelných zdrojů energie v České republice.

Disertační práce má logické uspořádání. Za určitý nedostatek bych označil:

- Není definován cíl výzkumu a disertace( i když je zřejmý a jasný)

- Návrh na další pokračování výzkumu považuji za příliš ohraničený( změna topného faktoru je jistě zajímavá, ale ne zásadní), spíše bych navrhol teoretické a následně konkrétní směry vedoucí ke zvýšení efektivity práce OZE
- Některé obrázky, obzvláště převzaté z literatury , jsou špatně čitelné. Na př. 3.12 , 8.1

K vlastní práci , bych chtěl položit následující dotazy:

- publikační činnost končí rokem 2011 ( Publikace v USA z roku 2012 je výjimkou)Je to spojeno s e studiem, nebo profesí?
- Vaše osobní představy o možném růstu instalací FV a TČ v České republice

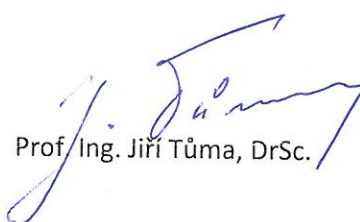
Pokud se týká publikací, autor disertace uvádí 11 příspěvků, ve kterých je uveden jako spoluautor . Z těchto publikací je převážná část věnována problematice proudového zatěžování vodičů a pouze čtyři širšímu tématu OZE. Doporučuji proto zvýšit publikační kapacitu, a to jak v písemné podobě, tak aktivní účastí na příslušných odborných konferencích.

Závěr.

Předložená disertace „ Využití termodynamického cyklu tepelného čerpadla pro zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů „ přes některé výhrady , které jsem uvedl výše, splňuje podmínky , kladené na práce tohoto charakteru a typu. Řeší aktuální otázky provozu energetických zařízení a souvisí s koncipováním skladby energetických zdrojů elektroenergetických soustav a ve svém důsledku přináší průkazné efekty v reálném energetickém hospodářství.

Práci doporučuji k obhajobě.

Praha , 1. 8. 2014



Prof. Ing. Jiří Tůma, DrSc.